

ХАРАКТЕР МЕТЕОРНЫХ РАДИОЭХО ПРИ НАБЛЮДЕНИИ РЕЗОНАНСНОГО ЭФФЕКТА НА ВОЛНЕ $\lambda = 10$ м

Э. К. НЕМИРОВА

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

Введение

При радиолокации метеорных следов характер отраженного сигнала оказывается при определенных условиях зависящим от поляризации падающей волны относительно оси метеорного следа. Чувствительность к поляризации объясняется возникновением резонанса плазмы, который вызывается составляющей поля E , перпендикулярной оси следа. Резонанс плазмы наблюдается, в основном, у следов неустойчивого типа (линейная электронная плотность в следе $\alpha < 2,4 \cdot 10^{12}$ $\frac{\text{э}}{\text{см}}$).

Рассмотрение характера отраженных сигналов в условиях резонанса показывает, что при „перпендикулярной“ поляризации амплитуда сигнала, фаза, форма дифракционной картины (характер изменения сигнала во времени) значительно изменяются по сравнению со случаем „параллельной“ поляризации. Степень этого изменения зависит от параметров метеора и среды (электронной плотности α , скорости v , коэффициента диффузии D), а также от длины волны радиолокатора [1, 2, 3]. В качестве примера приведены дифракционные картины на рис. 1, полученные расчетным путем [3]. Для этих дифракционных картин характерно увеличение амплитуды, запаздывание сигнала во

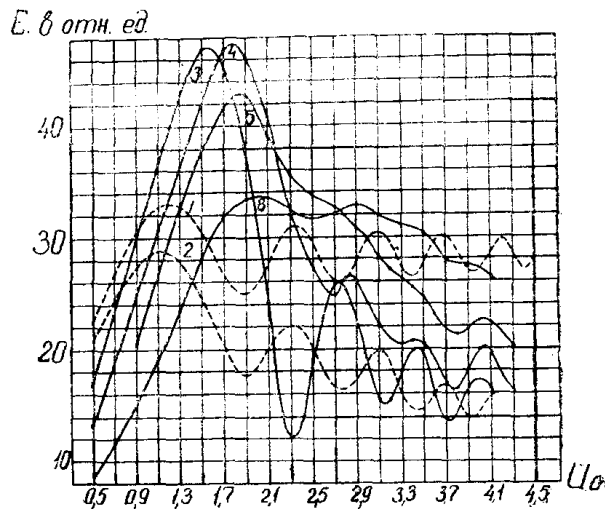


Рис. 1. Примеры огибающих амплитуд отраженных сигналов: 1—идеальная дифракционная картина (при отсутствии затухания и резонанса). 2—дифракционная картина при отсутствии резонанса с учетом затухания, 3, 4, 5, 6—дифракционные картины при резонансе для разных длин резонирующего участка следа $l_{\text{рез}}$ ($l_{\text{рез}}(3) < l_{\text{рез}}(4) < l_{\text{рез}}(5) < l_{\text{рез}}(6)$).

U_0 —величина, пропорциональная времени.

времени (сдвиг вправо), сглаживание пульсаций и уменьшение их периодов. Для метеоров с малой электронной плотностью глубина пульсаций может за счет резонанса возрасти.

Экспериментальное исследование поляризационного эффекта, результаты которого опубликованы в работах Клегга, Клосса, Кайзера [4], Биллема и Брауна [5], проводились на волне $\lambda=4$ и 5 м. Расчеты показывают, что для этих длин волн характерно, в основном, изменение амплитуды и фазы, остальные эффекты выражены слабо [3]. Поэтому полученные при этих наблюдениях результаты (распределение отношения амплитуд при двух взаимно перпендикулярных видах поляризации) характеризуют резонансный эффект неполностью. Дополнительные сведения о резонансном эффекте можно получить путем проведения наблюдений на более длинной волне. При этом особый интерес представляет форма дифракционной картины при резонансе, так как искажение дифракционной картины может вызвать погрешности при некоторых видах метеорных наблюдений [1, 2, 6].

2. Методика наблюдений и аппаратура

В настоящей статье излагаются некоторые результаты наблюдений резонансного эффекта на радиолокационной станции Томского политехнического института, предназначенной для метеорных исследований.

Основные параметры станции: длина волны $\lambda=10$ м, импульсная мощность $P_u=60$ квт, частота повторения $F_u=600 \frac{\text{имп}}{\text{сек}}$, длительность импульса $\tau_u=5$ мксек.¹⁾

Наблюдения проводились 8 и 9 июня 1961 года во время действия дневного метеорного потока ζ —Персеид с координатами радианта: склонение $\delta=24,4^\circ$, прямое восхождение $\alpha=61,5^\circ$.

Во время наблюдений передатчик станции работал одновременно на две директорные антенны с одинаковыми размерами, одна из которых имела горизонтальную поляризацию, другая—вертикальную.

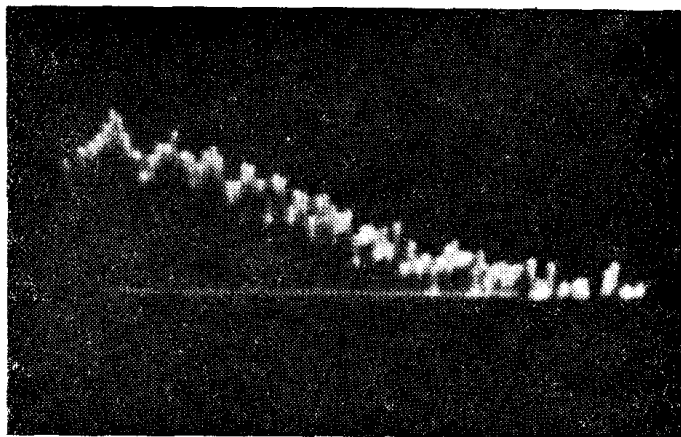


Рис. 2. Дифракционная картина при отсутствии поляризационного эффекта (фотография с экрана индикатора скорости).

Обе антенны, расположенные в непосредственной близости друг от друга, были ориентированы в направлении с азимутом 160° и углом

¹⁾ Указаны параметры станции, при данном эксперименте.

места 35 (азимут астрономический). При таком расположении антенн во время соответствующего положения радианта потока (в 11—12 часов декретного времени) антенна с горизонтальной поляризацией излучала волну, поляризованную „перпендикулярно“ по отношению к следам метеоров потока, а антенна с вертикальной поляризацией — „параллельно“ поляризованную волну.

Отраженные сигналы, принятые обеими антеннами, поступали на вход приемника поочередно (частота коммутации была равна половине частоты повторения импульсов). Последовательность принятых импульсов поступала на индикатор скорости метеоров, развертка которого длительностью ~0,1 сек. запускалась с приходом отраженного сигнала. Экран индикатора фотографировался на пленку вместе с индикатором дальности.

Если сигналы, принятые двумя антеннами, совершенно одинаковы, наблюдается дифракционная картина, пример которой приведен на рис. 2. При наличии поляризационного эффекта на одной развертке получаются две различные дифракционные картины (рис. 3)¹⁾.



Рис. 3. Пример эхо, показывающего поляризационный эффект.

3. Некоторые результаты наблюдений

В результате проведенных наблюдений было подтверждено наличие поляризационного эффекта на λ 10 м и искажение дифракционной картины за счет резонанса.

Характерными были следующие типы отражений:

1. Отражения неустойчивого типа (показывающие заметное уменьшение амплитуды на протяжении развертки длительностью 0,1 сек), проявляющие поляризационный эффект.
2. Отражения неустойчивого типа, не проявляющие поляризационного эффекта.
3. Отражения устойчивого типа с заметно выраженным поляризационным эффектом.
4. Отражения устойчивого типа, не проявляющие поляризационного эффекта.
5. Аномальные отражения.

Для отражений 1-го типа поляризационный эффект проявляется в увеличении амплитуды, сглаживании пульсаций, запаздывании ди-

¹⁾ Пульсации дифракционной картины не всегда четко выражены из-за влияния шумов и других искажающих факторов.

фракционной картины, иногда сокращении периодов пульсаций. Примеры отражений 1-го типа представлены на рис. 4.

У отражений этого типа наблюдаются два различных характера зависимости поляризационного отношения (отношения амплитуд для двух видов поляризации) от времени.

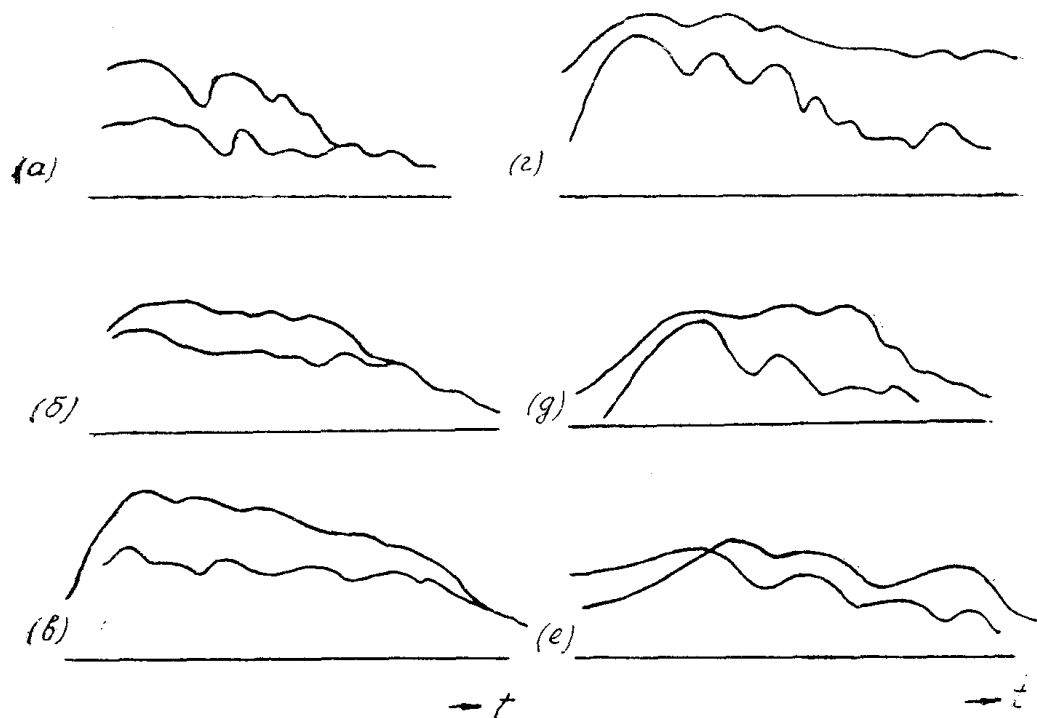


Рис. 4. Характерные виды отражений 1-го типа.

Для некоторых отражений поляризационное отношение сначала нарастает, а затем падает, стремясь к 1 (рис. 4 а, б, в). Такие отражения наблюдались в экспериментах на $\lambda = 4$ и 5 м. Как показывает расчет [3], они являются характерными для следов с короткими резонирующими участками $l_{рез}$ (длина резонирующего участка пропорциональна $\frac{\lambda^2 v}{D}$).

Типичное изменение ρ во времени для этих отражений показано на рис. 5.

Однако более часто встречаются отражения, соответствующие сравнительно большим $l_{рез}$. Это объясняется тем, что чувствительность аппаратуры сравнительно невысока. При обнаружении метеоров в направлении максимума лепестка диаграммы направленности антенны минимальная обнаруживаемая электронная плотность при $R = 150$ км составляет

$$n_{\min} \cong 3 \cdot 10^{11} \frac{9}{\text{см}}.$$

По расчету, для таких отражений должны быть характерны изменения, показанные на рис. 1 (кривые 5 и 6). Типичные примеры отражений такого типа изображены на рис. 4 (г, д, е).

Точное значение поляризационного отношения для этих отражений не было найдено, так как на протяжении 0,1 сек оно не умень-

шалось до 1, что не позволяло ввести поправочный коэффициент, учитывающий разницу в интенсивности сигналов, принятых двумя антеннами, по причинам, не зависящим от поляризационного эффекта.

Однако можно отметить, что, как и следует из расчета, поляризационное отношение в течение продолжительного времени увеличивается, спад резонирующего эхо происходит значительно медленнее, чем нерезонирующего.

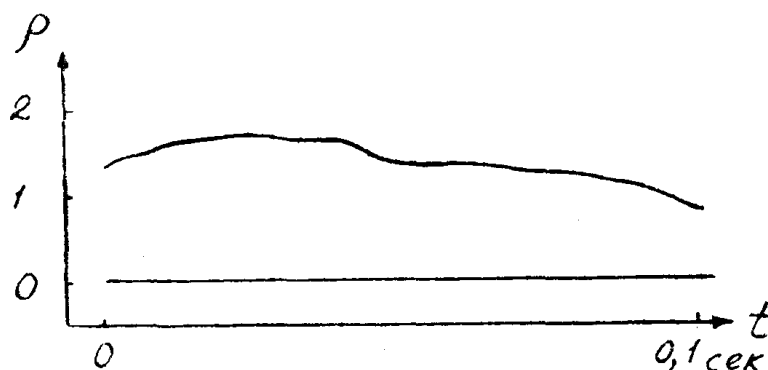


Рис. 5. Изменение во времени поляризационного отношения для неустойчивых эхо (пример).

В большинстве случаев наблюдается сдвиг максимума отражения вправо. Величины измеренных сдвигов Δt лежат в пределах от 0 до 0,01 сек.

Для отражения 4 (е) $\Delta t/T_1 = 0,35$ (где T_1 — первый период пульсаций), для отражения 4 (г) $\Delta t/T_1 = 0,3$. По расчету, $\Delta t/T_1$ лежит в пределах от 0 до 0,8.

Отражение 4 (г) показывает уменьшение периодов пульсаций: первого на 14 %, второго на 20 %, что также укладывается в пределы, даваемые расчетом, и подтверждает расчетные данные о том, что второй период должен изменяться больше первого.



Рис. 6. Резонирующее эхо устойчивого типа.

Отражения второго типа (неустойчивые эхо, не дающие поляризационного эффекта) имеют поляризационное отношение $\rho \approx 1$ и подобную форму дифракционных картин. Отражения такого вида могут получаться для следов, расположенных под приблизительно одинаковыми углами к плоскостям поляризации антенн. Таких отражений сравнительно немного.

Большинство метеоров устойчивого типа не проявляет поляризационного эффекта, что соответствует теории Кайзера-Клосса [7].

Вместе с тем, часто встречаются отражения устойчивого типа, обнаруживающие поляризационный эффект в начале отражения. Характерные отражения этого типа приведены на рис. 6. Поляризационное отношение уменьшается со временем до 1. Значение ρ_{\max} для таких эхо составляет в среднем 1,5. Закономерного изменения дифракционной картины за счет резонанса проследить не удалось из-за искажений, вызванных другими причинами.

Помимо рассмотренных типов наблюдались аномальные эхо с хаотическим изменением ρ во времени.

Выводы

Проведенные наблюдения поляризационного эффекта позволяют прийти к следующим выводам:

1. На волне $\lambda=10$ м может существовать резонанс плазмы.
2. За счет резонанса происходит искажение дифракционной картины. Основные закономерности этого искажения, полученные расчетным путем, подтверждаются экспериментально.

3. В ряде случаев наблюдается поляризационный эффект у устойчивых метеорных следов, что расходится с теорией Кайзера и Клосса, но отчасти подтверждается данными Кайтеля [8].

Необходимо отметить, что полученные данные нуждаются в дополнительной обработке для получения соответствующих статистических закономерностей.

В заключение выражаю признательность старшему инженеру Бутакову Л. Д. за помощь при проведении наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. К. Немирова, Поляризационный эффект при отражении радиоволн от метеорных следов, Труды Сибирского физико-технического института, вып. 37, 1959.
2. Э. К. Немирова, О роли резонансных эффектов при измерении скоростей метеоров, Астрономический журнал, XXXVI, 3, 1959.
3. Э. К. Немирова, Резонансное рассеяние радиоволн параболическими метеорными следами, Известия ТПИ, т. 100.
4. R. L. Closs, J. A. Clegg, T. R. Kaiser, An experimental study of radio reflections from meteor trails, Phil. Mag., 1953, v. 44, N 350.
5. E. R. Billam, J. C. Browne, Observation of polarisation effects in radio echoes from meteor trails, „Meteors”, ed. by T. R. Kaiser, 1955, p. 73.
6. Э. К. Немирова, Погрешности измерения скоростей метеоров методом разнесенного приема, Известия ТПИ, т. 105, 1960.
7. T. R. Kaiser, R. L. Closs, Theory of radio reflections from meteor trails, Phil. Mag., ser. 7, 1952, v. 43, N 336.
8. G. H. Keitel, Certain mode solution of forward scattering by meteor trails, J. Geophys. Res 1951, 56, p. 37.